

物理实验



## 用误差理论分析磁电式电表的使用规则\*

凌舒愉 吴先球

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2017-03-11)

**摘要:**高中新课标要求学生能正确操作实验仪器.对于磁电式电表,教材规定,使电压电流表指针偏至满刻度四分之三和使欧姆表指针偏至中值电阻附近读数.借助误差理论进行定量分析,为教师在课堂上能更清楚地讲解此规定的来龙去脉提供参考.

**关键词:**仪器与误差 相对误差 磁电式电表 量程

在高中电学关于电表的使用实验中,对于电表量程的选择,人教版《物理·选修3-1》教师用书和人教版普通高中《物理·选修3-1》教科书作出了下面的规定:

(1) 电压电流表量程选择的原则是:在不超过量程的情况下,指针尽量偏转至 $\frac{3}{4}$ 左右<sup>[1]</sup>.

(2) 使用多用电表欧姆挡测电阻时,应该选择适当倍率的欧姆挡使得测量时指针落在刻度盘中间区域<sup>[2]</sup>.

但是对于此规定的原因,相关教材、教参和教师用书并没有进行详细的论述,这将会导致学生在规定的形成过程中出现理解不深刻的现象.本文用误差理论分析电表的误差,对正确选择电表的量程提供理论根据.

## 1 磁电式电表的误差

任何测量总是不可避免地存在误差,中华人民共和国国家标准 GB/T 14913-2008《直流数字电压表及直流模数转换器》标准第 4.6.1 明确规定直流数字电压表的绝对误差可表示为

$$\Delta U = \pm (a\%U_x + b\%U_m) \quad (1)$$

式中  $U_x$  表示被测量的电压值,  $U_m$  表示被测量的满度值,  $a$  表示与读数值有关的误差系数,  $b$  表示与满度值有关的误差系数,且国标规定  $a \geq 4b$ .

## 2 选择合适的量程使电压电流表接近满偏的 $\frac{3}{4}$

高中实验室常用的 J0407 型电流表和 J0408 型电压表的等级都是 2.5 级,即允许误差 = 量程  $\times$  2.5%. 对于分度均匀的电流表和电压表,在其量程选定的情况下,不同示值的绝对误差相同,但相对误差不同,如表 1 所示.

表 1 电流表电压表读数的相对误差

物理量	量程	示值	绝对误差	相对误差 / %
I/mA	0 ~ 500	200	13	6
		400	13	3
	0 ~ 2 500	400	62	15
		2 000	62	3
U/V	0 ~ 2.5	0.50	0.06	1
		2.00	0.06	3
	0 ~ 10	2.00	0.3	15
		8.00	0.3	4

因此在实际测量中,我们更关注电表的相对误差,根据式(1)计算出电压表的相对误差

$$\frac{|\Delta U|}{U_x} = a\% + b\% \frac{U_m}{U_x} \quad (2)$$

由于电压表是电流表改装而成的,因此电流表

\* 广州市科技和信息化局科普计划项目,项目编号:2014KP000043

作者简介:凌舒愉(1993-),女,在读硕士研究生,研究方向为信息技术在物理实验中的应用.

通讯作者:吴先球(1968-),男,博士,教授,研究方向为信息技术在物理实验中的应用、核磁共振技术及其应用.

的相对误差为

$$\frac{|\Delta I|}{I_x} = a\% + b\% \frac{I_m}{I_x} \quad (3)$$

由式(2)、(3)可得,当 $a$ 和 $b$ 恒定以及电表的量程 $U_m$ 和 $I_m$ 也选定的时候,电表的指示值 $I$ 和 $U$ 越大,相对误差越小.因此为了减小电压电流表读数的相对误差,应该选择正确的量程,使指针偏转大一点,人教版教科书规定电压电流表在使用时指针尽量偏转至 $\frac{3}{4}$ 左右.

### 3 选择合适的量程使欧姆表在中值电阻附近读数

欧姆表也是由电流表改装而成的,假设 $R_0$ 等于欧姆表内阻,电流表显示的电流 $I_x$ 与待测电阻 $R_x$ 有以下的关系

$$I_x = \frac{E}{R_0 + R_x} \quad (4)$$

当 $R_x = R_0$ 时,有

$$I_x = \frac{E}{2R_0} = \frac{1}{2} I_m$$

此时欧姆表的指针位于刻度盘的中央,因此 $R_0$ 叫做欧姆表的中值电阻.由式(4)求导然后除以 $R_x$ 得

$$\frac{dR_x}{R_x} = -\frac{E}{E - I_x R_0} \frac{dI_x}{I_x} \quad (5)$$

目前相关的文献基本都是规定式(5)中的 $dI_x$ 是一个定值,从而推导出欧姆表在中值电阻附近读数相对误差最小<sup>[4,5]</sup>.但是 $dI_x$ 在测量过程中是不是不变的?这是个需要商榷的问题.

把式(3)代入式(5)可得电阻的相对误差为

$$\frac{dR_x}{R_x} = -\frac{I_m R_0}{(I_m R_0 - I_x R_0)} \left( a\% + b\% \frac{I_m}{I_x} \right) = \frac{I_m}{1 - \frac{I_m}{I_x}} \left( a\% + b\% \frac{I_m}{I_x} \right) = \frac{x}{1-x} (a\% + b\% x)$$

式中令 $x = \frac{I_m}{I_x}$ .

对相对误差 $\frac{dR_x}{R_x}$ 求导,当导数等于零时,相对误差有最小值,有

$$\left( \frac{dR_x}{R_x} \right)' = \frac{-bx^2 + 2bx + a}{(1-x)^2} = 0$$

根据求根公式得

$$x = \frac{b \mp (b^2 + ab)^{\frac{1}{2}}}{b}$$

用牛顿二项式定理

$$(A+B)^n = \sum_{r=0}^n \frac{n!}{r!(n-r)!} A^{n-r} B^r$$

将上式展开

$$x = \left\{ b \mp \left[ b + \frac{1}{2}a + \frac{\frac{1}{2}\left(-\frac{1}{2}\right)}{2!} b^{-1} a^2 + \frac{\frac{1}{2}\left(-\frac{1}{2}\right)\left(-\frac{3}{2}\right)}{3!} b^{-2} a^3 + \dots \right] \right\} \frac{1}{b} \approx$$

$$\frac{b \mp b}{b} = 2 \text{ (无穷项,从第二项开始省去)}$$

$$\frac{I_m}{I_x} = 2 \quad R_x = R_0$$

因此,当待测电阻值等于中值电阻时,相对误差最小.考虑到实际使用中允许读数有一定跨度范围,所以使用欧姆表时,选择倍率应尽可能使读数靠近中央刻度.

### 4 结束语

全文用数学模型分析了磁电式电表的误差,利用误差理论讨论了电表的使用规则.根据《全民科学素质行动计划(2006-2010-2020年)》的建议,作为一门重要的自然科学基础课程,物理应该以提升学生的科学素养作为核心目标.因此,在基础教育阶段,教师不应该只着眼于教给学生知识和规律,而应该着眼于教学生具有持久价值和迁移价值的关键性概念、原理或者方法.因此,教师在教学中可以适当向学生渗透误差理论,培养学生严谨、务实的科学素养.

### 参考文献

- 1 人民教育出版社. 普通高中课程标准实验教科书 物理·选修3-1 教师教学用书. 北京:人民教育出版社,2015. 84
- 2 人民教育出版社. 普通高中课程标准实验教科书 物理·选修3-1. 北京:人民教育出版社,2014. 67
- 3 GB/T14913-2008 直流数字电压表及直流模数转换器
- 4 潘积亭. 欧姆表倍率选择的准则. 物理实验,1991(03): 140~141
- 5 许勤. 由误差看磁电式电表的读数. 中学物理教学参考,2013(5):70

# “流体压强与流速关系”的实验改进

王 笑

(宿迁市钟吾国际学校 江苏 宿迁 223800)

(收稿日期:2017-03-24)

流体压强与流速的关系是苏科版物理第十章第三节“气体的压强”第2课时,它既是对液体压强、气体压强知识的延伸,同时也为后面学习浮力奠定了基础.教材的“口吹薄纸”“硬币跳高”等实验,设计学生通过用口吹气的方式改变流体的流速从而改变流体的压强,但在实际教学中用口吹气的力度和时间不容易控制,实验现象有时会不明显或持续时间短暂,不便于在有限的课堂时间内总结实验规律,而且这些实验都不能直接反映压强的变化.为此,笔者对教材中传统的实验进行了改进.

## 1 “天女散花”实验引课

教材上采用设置疑问引入新课:“人类通过模拟鸟的翅膀制造了飞机的机翼,从而实现了遨游天空的梦想.是什么力量使飞机升空的呢?”鸟的飞行依靠翅膀抖动和飞机依靠发动机向后喷气(机翼不动)类比差距实在是太大,不容易引起学生对两者可比性的思考,且学生对鸟的翅膀和飞机的机翼形态认识并不那么细致,教材引课不够生动有趣,且脱

离学生认知水平.

为改进教学,笔者设计小实验“天女散花”进行引课,具体实验如下:

如图1所示,将彩色碎纸片放入塑料杯中,手握洗衣机的排水管一端,使其靠近纸片,保持下半部分不动,另一只手握住上半部,使其在空中快速转动.



图1 “天女散花”实验装置

实验时会看到纸屑从管口中飞出,如图2所示,通过落英缤纷的景象,激发学生的好奇心.通过设问“纸屑为什么能从运动的管口飞出来?”激发学生的兴趣与求知欲,将学生学习的热情充分调动起来.通过简单对比分析,学生容易得出纸屑飞出与管口运动有关,也即与管口空气流动速度有关.这样的引

## Analyzing the Usage Rules of Magnetic - electric Am meters Using the Error Theory

Ling Shuyu Wu Xianqiu

(School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006)

**Abstract:** According to the new curriculum standard of senior high school, students are required to operate the experiment instruments correctly. The textbooks require to choose the appropriate range of the magnetic - electric ammeters. It is to make the pointer of ammeter and voltmeter reach  $3/4$  of the full scale as well as the pointer of ohmmeter reach median resistance. The error theory is used to quantitatively analyze it in order to provide a reference for teachers to explain more clearly about the rules in the classroom.

**Key words:** relative error ; magnetic - electric ammeters ; range ; median resistance